نشریه پژوهش‌های زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۹۷-۵۸۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 583-597

مطالعه واکنش برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) به سطوح مختلف آب و نیتروژن

روژین قبادی[۱]- مختار قبادی[۲*]- سعید جلالی هنرمند[۲]- بهمن فرهادی[۳]- فرزاد مندنی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیک ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن، به شناسایی سازوکارهای مؤثر بر ایجاد مقاومت در مقابل شرایط نامطلوب محیطی کمک می‌کند. در این راستا، طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در دانشگاه رازی، اثر سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن بر برخی صفات فیزیولوژیک مؤثر بر رشد و تولید ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ بررسی شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی، چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی و فاکتور فرعی، چهار سطح نیتروژن شامل تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمون خاک بود. نتایج نشان داد که به دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت و دمای بیشتر هوا در سال دوم آزمایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در مقایسه با سال اول به‌طور معنی‌داری کمتر و دمای برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین تأثیر منفی کم آبی بر فعالیت فتوسیستم II در سال دوم مشاهده شد. در هر دو سال، با افزایش شدت کم آبی، صفت‌های محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق کاهش یافتند. افزایش مقدار نیتروژن تا حد تأمین نیاز گیاه منجر به افزایش سرعت فتوسنتز شد. در شرایط بدون تنش کم آبی، مصرف نیتروژن تا حد مقدار توصیه شده منجر به افزایش سرعت فتوسنتز، کاهش سرعت تعرق و در نهایت بهبود کارایی مصرف آب فتوسنتزی گردید. اما در شرایط کم آبیاری، تفاوت صفات مورد بررسی بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود. در هر دو سال، افزایش همزمان آب و نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه گردید. در سال اول بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۸۰ و ۲۹۴ گرم در مترمربع) به‌ترتیب متعلق به تیمارهای $I_{120\%}N_{140\%}$ و $I_{60\%}N_{70\%}$ بود. در سال دوم نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۰۳ و ۲۷۷ گرم در مترمربع) به‌ترتیب در تیمارهای $I_{120\%}N_{100\%}$ و $I_{60\%}N_{40\%}$ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، فتوسنتز، کم‌آبی، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

تغییر سطوح آب و نیتروژن سبب ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی در گیاه و سلول‌های آن می‌شود. این تغییرات در گیاه برای پاسخ به تنش در جهت تخفیف یا رفع اثرات تنش، ایجاد شده و به دنبال آن عملکرد تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Ghobadi, 2017). مدیریت نامناسب آب و نیتروژن، اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد ذرت (*Zea mays* L.) محسوب می‌شوند (Alizadeh Oghyanous *et al.*, 2008). به منظور دستیابی به تولید قابل قبول و جلوگیری از تلفات آب و نیتروژن، باید این دو نهاده مهم با مدیریت دقیق در اختیار گیاه قرار گیرد.

پاسخ مناسب ذرت به کاربرد نیتروژن که از طریق تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک سبب دستیابی به عملکرد بالاتر می‌شود، دلیل مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن‌دار از سوی کشاورزان است (Mulvaney *et al.*, 2001). مصرف زیاد نیتروژن، تلفات نیتروژن شامل آبشویی، دنیتریفیکاسیون و تصعید را به دنبال دارد (Olaniyan *et al.*, 2004). امروزه به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری، مانند کم آبیاری نه تنها به‌عنوان راهکاری برای مقابله با بحران کم آبی مورد توجه قرار دارد، بلکه نقش مهمی در جلوگیری از آبشویی و حفظ عناصر غذایی در منطقه ریشه و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه خواهد داشت (Gheysari *et al.*, 2009). کم آبیاری به‌عنوان یک راهکار

۱- دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه رازی
۲ و ۴- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه رازی
۳- استادیار، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی
(*- نویسنده مسئول: Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.68456

سودمند در شرایط محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شده است. با کم آبیاری به‌طور آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهد (English *et al.*, 1990). در صورت استفاده منطقی و مدیریت شده از روش کم آبیاری، میزان کاهش محصول در برابر منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره شده ناچیز خواهد بود (Dokoohaki *et al.*, 2012). در حال حاضر، اغلب توصیه مصرف نیتروژن برای شرایط مطلوب آبی انجام می‌شود. با توجه به این‌که در شرایط کم‌آبی جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد، لازم است توصیه‌های کودی مطابق با شرایط آبی موجود صورت گیرد. مطالعه نحوه و شدت واکنش فیزیولوژیک ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن در دسترس، به شناسایی ساز و کارهای مؤثر در ایجاد مقاومت گیاه به شرایط نامطلوب محیطی و تخمین دقیق‌تر نیاز ذرت به آب و نیتروژن کمک می‌کند.

برگ‌های ذرت در ایجاد سازوکار اجتناب از کم‌آبی نقش مهمی دارند. لوله شدن برگ، پیامد کاهش فشار تورژسانس سلول‌های بالی‌فرم اطراف رگبرگ است. حفظ پتانسیل آب برگ عامل مهمی در تولید ماده خشک است (Khaksar *et al.*, 2014). محتوای نسبی آب برگ، شاخص مناسبی برای ارزیابی وضعیت آب برگ است. زیرا تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را منعکس می‌کند (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). کاهش سرعت فتوسنتز در اثر تنش به محدودیت‌های روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای مربوط است. دلیل اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط کمبود آب، کاهش ورود دی‌اکسید کربن در اثر بسته شدن روزنه‌ها است. کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در اثر کم آبی قبل از کاهش معنی‌دار پتانسیل آب برگ ایجاد می‌شود (Rezaii Rad *et al.*, 2016). پس از درک تنش کم آبی به‌عنوان یک عکس‌العمل فیزیولوژیک، هورمون آبسزیک اسید در ریشه تولید می‌شود. ارسال این هورمون به اندام‌های هوایی پاسخ‌های دفاعی مثل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت رشد برگ و در نتیجه کاهش هدر رفت آب و افزایش کارایی مصرف آب را به دنبال دارد (Sepaskhah and Ahmadi, 2010). محدودیت‌های غیر روزنه‌ای فتوسنتز ناشی از افزایش مقاومت مزوفیلی نسبت به انتشار دی‌اکسید کربن از فضای زیر روزنه به محل تثبیت، افزایش مقاومت غلاف آوندی نسبت به حرکت اسید چهار کربنه از سلول مزوفیلی به سلول غلاف آوندی، تخریب غشاهای سلول و کلروپلاست، کاهش محتوای رنگدانه، کاهش مقدار و فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و ممانعت از فعالیت فتوسیستم II است (Seghatoleslami *et al.*, 2008; Retta *et al.*, 2016).

به دنبال کمبود نیتروژن، کاهش سطح برگ در مقایسه با کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ تأثیر بیشتری بر کاهش تولید ماده خشک خواهد داشت. با این وجود، شواهدی مبنی بر تأثیر مستقیم نیتروژن بر سرعت فتوسنتز وجود دارد. نیتروژن با تغییر محتوای رنگدانه و سنتز آنزیم‌های مسیر فتوسنتز، جذب تشعشع و سرعت فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zeiaie, 2007). دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2005) کاهش سرعت فتوسنتز ذرت در شرایط کمبود نیتروژن را به دلیل کاهش محتوای پروتئین‌های استروما و تیلاکوئید از جمله آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز (رابیسکو و فسفوانول پیروات کربوکسیلاز) گزارش کردند. با این حال، به عقیده ضیایی (Zeiaie, 2007) وفور آنزیم رابیسکو موجب مقاومت فتوسنتز در مقابل کمبود نیتروژن می‌شود. اما ممکن است بر اثر حرکت و انتقال نیتروژن از برگ، سطح نیتروژن برگ به قدری پایین بیاید که فتوسنتز آسیب ببیند.

با توجه به بحران کم آبی، لزوم گسترش تکنیک کم آبیاری و به دنبال آن لزوم برقراری تناسب بین مقدار نیتروژن مصرفی با آب موجود در روش کم آبیاری احساس می‌شود. در این شرایط، مطالعه صفات فیزیولوژیک به فهم بهتر واکنش ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن در دسترس کمک می‌کند. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی نقش مقادیر مختلف آب و نیتروژن در ایجاد تغییرات فیزیولوژیک برگ ذرت در مرحله ظهور گل‌تاجی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در شرق شهرستان کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید کم‌آبی، $I_{60\%}$)، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی (تنش ملایم کم‌آبی، $I_{80\%}$)، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (آبیاری کامل، $I_{100\%}$) و تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی (بیش آبیاری، $I_{120\%}$) و فاکتور فرعی چهار سطح نیتروژن شامل تأمین ۴۰ درصد ($N_{40\%}$)، ۷۰ درصد ($N_{70\%}$)، ۱۰۰ درصد ($N_{100\%}$) و ۱۴۰ درصد ($N_{140\%}$) مقدار توصیه شده بر اساس نتایج آزمون خاک بود (جدول ۳). بر اساس طبقه‌بندی دمارتن، اقلیم منطقه سرد و نیمه خشک می‌باشد. خصوصیات آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد گیاه ذرت در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور آماده‌سازی زمین، شخم پاییزه و دیسک بهاره انجام شد. در هر دو سال بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲)، فسفر به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) و پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم (حاوی ۴۶ درصد K_2O) به صورت پیش کاشت استفاده شد.

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل مورد مطالعه در طول دوره رشد ذرت

Table 1- Weather conditions of the study area during maize growth seasons

سال Year		ماه Month		میانگین درجه حرارت ماهانه Average monthly temperature (°C) حداقل (.min)	حداکثر (.max)	متوسط (average)	میزان تبخیر Evaporation (mm)
2014	۱۳۹۳	May	اردیبهشت	9.2	27.2	18.4	194.1
		June	خرداد	13.0	33.0	24.2	283.4
		July	تیر	17.6	38.9	29.2	328.4
		Aug.	مرداد	17.8	39.3	29.3	352.6
		Sep.	شهریور	13.8	30.3	21.7	250.5
		Oct.	مهر	10.3	26.9	18.6	146.9
2015	۱۳۹۴	May	اردیبهشت	9.0	28.4	19.3	275.4
		June	خرداد	14.1	36.9	26.0	359.2
		July	تیر	19.3	38.6	29.8	388.1
		Aug.	مرداد	19.6	39.9	30.6	396.6
		Sep.	شهریور	15.9	34.6	25.8	294.5
		Oct.	مهر	11.0	29.2	20.1	199.2

Reference: www.fieldclimate.com

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physical and chemical properties of the soil

سال Year		عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture		اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq $100g^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)
2014	۱۳۹۳	0-30	Clay	رسی	7.37	0.60	27.00	1.48	0.15	5.2	340
		30-60	Clay	رسی	7.40	-	-	1.12	0.11	-	-
2015	۱۳۹۴	0-30	Clay	رسی	7.69	0.55	27.00	1.00	0.10	5.1	350
		30-60	Clay	رسی	7.60	-	-	0.90	0.09	-	-

طول هر کرت شش متر، فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۷/۷۸ سانتی‌متر بود، به طوری‌که تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع حاصل شد. کاشت بذر ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ در هفته دوم اردیبهشت ماه به صورت دستی در عمق پنج سانتی‌متری روی پشته انجام شد. در هر کپه سه عدد بذر ضدعفونی شده با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام دو در هزار قرار داده شد. به منظور رسیدن به تراکم مطلوب، در مرحله چهار برگی بوته‌های اضافی تنک شدند.

بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز ذرت دانه‌ای رقم فوق‌الذکر، برای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن، در سال اول ۱۶۱ و در سال دوم ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تعیین گردید (Malakooti and Gheibi, 2000). با توجه به سطوح در نظر گرفته شده برای تیمار نیتروژن، مقدار کود اوره به ازای هر کرت محاسبه شد (جدول ۳). تقسیط هر سطح نیتروژن به صورت یک سوم در مرحله دو برگی، یک سوم در مرحله شش برگی (ابتدای رشد طولی ساقه) و یک سوم قبل از ظهور گل‌تاجی بود. تا قبل از مرحله شش برگی، آبیاری مطلوب برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. تیمار آبیاری با شروع مرحله شش برگی بر اساس سطوح در نظر گرفته شده اعمال شد. نیاز آبی با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی هوشمند مجاور مزرعه تحقیقاتی تخمین زده شد. قبل از هر آبیاری با وارد کردن این اطلاعات در معادله پنمن- مونتیث فائو، ابتدا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه گردید. سپس با استخراج مقادیر ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد آن برای منطقه کرمانشاه از نرم‌افزار AGWAT (Alizadeh *et al.*, 2002) و ضرب آن در

مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق روزانه ذرت محاسبه شد. با جمع کردن مقادیر تبخیر و تعرق روزانه بین دو آبیاری، نیاز خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. با فرض راندمان آبیاری معادل ۹۰ درصد، نیاز ناخالص آبیاری تخمین زده شد. نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به‌عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه و مقادیر آب در نظر گرفته شده برای هر کرت در دوره‌های هفت روزه (دور آبیاری معمول در منطقه) تعیین و در اختیار گیاهان قرار گرفت. آبیاری توسط لوله پلی‌اتیلن و شلنگ انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها با کنتور کنترل شد. لازم به ذکر است که دلیل انتخاب تیمار بیش آبیاری، عدم اطمینان کافی به روش پنمن- مونتیث فائو برای محاسبه دقیق نیاز آبی در شهرستان کرمانشاه بود.

جدول ۳- مقدار آب آبیاری و کود اوره برای هر یک از سطوح اب و نیتروژن

Table 3- Seasonal irrigation water volume and urea amount for each irrigation and nitrogen levels.

سطوح آبیاری Irrigation levels	توصیف Description	مجموع آب مصرفی Total water distributed (mm) 2014 ۱۳۹۳	2015 ۱۳۹٤
$I_{60\%}$	تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی supplying 60% of total water requirement	670.54	602.84
$I_{80\%}$	تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی supplying 80% of total water requirement	810.72	737.12
$I_{100\%}$	تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی supplying 100% of total water requirement	950.90	894.60
$I_{120\%}$	تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی supplying 120% of total water requirement	1091.08	1033.52
سطوح نیتروژن Nitrogen levels	توصیف Description	مقدار کود اوره مصرفی Urea fertilizer amount (kg ha^{-1}) 2014 ۱۳۹۳	2015 ۱۳۹۴
$N_{40\%}$	تأمین ۴۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 40% of total nitrogen requirement	140	160
$N_{70\%}$	تأمین ۷۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 70% of total nitrogen requirement	245	280
$N_{100\%}$	تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 100% of total nitrogen requirement	350	400
$N_{140\%}$	تأمین ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 140% of total nitrogen requirement	490	560

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در زمان ظهور گل‌تاجی، نمونه‌برداری در سال‌های اول و دوم، شش روز بعد از آبیاری و از برگ پرچم سه بوته از هر کرت صورت گرفت. نمونه‌ها در پلاستیک قرار داده شدند و با کمک فلاسک حاوی یخ خشک به سرعت به آزمایشگاه که در مجاورت مزرعه قرار دارد منتقل و وزن تر (FW) آن‌ها تعیین شد. سپس برگ‌ها به مدت چهار ساعت در شدت نور کم در آب مقطر قرار گرفته و پس از حذف رطوبت سطحی آن‌ها توسط کاغذ صافی، وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس (TW) تعیین شد. در پایان، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک (DW) آن توسط ترازوی با دقت یک هزارم گرم توزین شد و محتوای نسبی آب برگ (درصد) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Barrs, 1968).

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100 \quad (۱)$$

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای و دمای برگ در زمان ظهور گل‌تاجی، در سال‌های اول و دوم پنج روز بعد از آبیاری در یک روز آفتابی با آسمان صاف بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ انجام شد. به این منظور انتشار بخار آب از روزنه (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و دمای (سانتی‌گراد) برگ‌های جوان توسعه یافته سه بوته از هر کرت توسط دستگاه پرومتر مدل SC-1 تعیین شد.

جهت تعیین حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم Π از دستگاه فلوریمتر مدل Pocket PEA استفاده شد. اندازه‌گیری در زمان ظهور گل‌تاجی، در سال‌های اول و دوم پنج روز بعد از آبیاری از برگ‌های جوان و توسعه‌یافته سه بوته از هر کرت بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ انجام شد.

$$F_V/F_M = \frac{F_M-F_O}{F_M} \quad (۲)$$

F_M فلورسانس حداکثر، F_O، فلورسانس حداقل و F_V/F_M نسبت

فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر است.

اندازه‌گیری شاخص سبزینگی در سال ۱۳۹۳ توسط دستگاه SPAD مدل 502 در زمان ظهور گل‌تاجی بعد از کالیبراسیون دستگاه و پاک کردن غبار از سطح برگ انجام شد. در زمان اندازه‌گیری سه برگ از برگ‌های توسعه‌یافته با موقعیت تقریباً مشابه بر روی بوته‌های مختلف انتخاب شد. میزان سبزینگی سه نقطه از هر برگ تعیین و میانگین این اعداد ثبت شد.

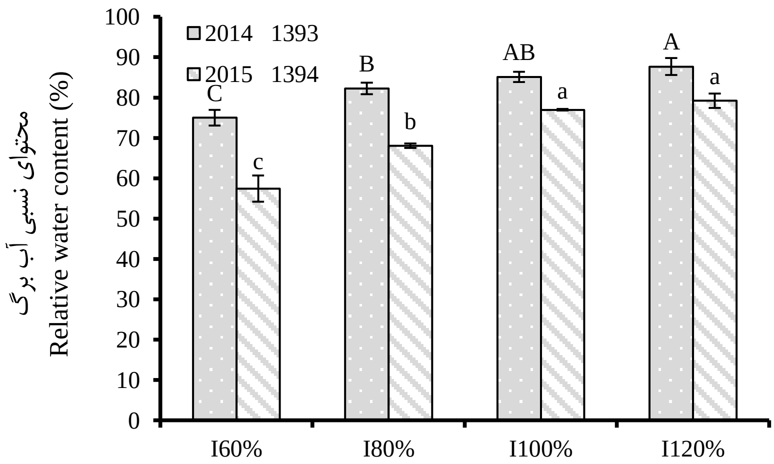
بررسی تبادلات گازی برگ در سال ۱۳۹۳ مقدور شد. به منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) و سرعت تعرق (میلی‌مول آب بر مترمربع در ثانیه) در مرحله ظهور گل‌تاجی، شش روز بعد از آبیاری، از دستگاه LCi Analyser استفاده شد. برگ‌های جوان گسترش یافته‌ای که در معرض نور بودند، برای اندازه‌گیری تبادلات گازی انتخاب شدند. اندازه‌گیری در یک روز آفتابی با آسمان صاف بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ در شدت نور ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه، با قرار دادن قسمت میانی پهنک در داخل محفظه دستگاه به مدت ۴۵ ثانیه انجام شد. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر میلی‌مول آب) از تقسیم سرعت فتوسنتز به سرعت تعرق محاسبه شد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش Kolmogorov-smirnov و نرمال کردن داده‌های غیر نرمال به روش Box-Cox و آزمون بارتلت به منظور بررسی همگن بودن واریانس خطای دو سال برای هر صفت با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ صورت گرفت. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح پنج درصد، با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۸/۲ انجام شد. با توجه به اینکه واریانس خطای آزمایش دو سال برای تمام صفات اندازه‌گیری شده ناهمگن بود، بنابراین، نتایج مربوط به سال اول و دوم آزمایش به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

اثر آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ در هر دو سال معنی‌دار بود (جدول ۴). در هر دو سال، با افزایش شدت کم آبی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. محتوای نسبی آب برگ تمام سطوح آبیاری در سال دوم از سال اول کمتر بود. همچنین در سال دوم، کاهش محتوای آب برگ در تنش ملایم و شدید کم‌آبی در مقایسه با سال اول شدیدتر بود. به طوری‌که در سال اول محتوای نسبی آب برگ در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۲/۶، ۵/۴ و ۱۲/۷ درصد کمتر بود. در سال دوم این مقادیر به‌ترتیب ۲/۲، ۱۱/۱ و ۲۱/۸ درصد به‌دست آمد (شکل ۱). کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده کاهش آماس سلول‌های برگ است که موجب کاهش رشد می‌گردد. کم‌آبی با تأثیر بر اندازه سلول، کاهش فضای بین سلولی و افزایش ضخامت لایه پارانشیم برگ که ناشی از پیر شدن برگ‌ها است، محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد. کاهش آماس سلولی با تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را کنترل کرده و با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم تحت کنترل پتانسیل آب هستند، بر رشد و تولید گیاه اثر منفی دارد (Khaksar *et al.*, 2014).



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح در صفت محتوای نسبی آب برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹٤ (حروف کوچک) در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 1- Mean comparison of irrigation levels for relative water content in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.

جدول ٤- تجزیه واریانس سالیانه صفات مورد بررسی (میانگین مربعات)

Table 4- Annual analysis of variance for measured traits (mean squares)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	محتوای نسبی آب برگ Relative water content		هدایت روزنه‌ای برگ Leaf stomatal conductance		دمای برگ Leaf temperature		حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II Photochemical efficiency II of PS		سبزینگی برگ SPAD	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	سرعت تعرق Transpiration rate	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency
			2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2014	2014	2014
Replication	تکرار	2	2.73^{ns}	30.99^{ns}	632.99**	46.54^{ns}	78.89**	37.97**	0.0002^{ns}	0.0049^{ns}	63.20**	49.40^{ns}	0.09^{ns}	1.11^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	3	359.13**	1174.79**	2905.26**	1072.98**	8.95**	46.97**	0.0058^{ns}	0.0196*	216.19**	543.3**	10.82**	3.08^{ns}
Error a	اشتباه	6	15.41	10.44	223.86	55.49	3.03	3.84	0.0109	0.0047	15.45	72.80	0.27	2.06
Nitrogen (N)	نیتروژن	3	16.10^{ns}	30.55^{ns}	165.85^{ns}	39.78^{ns}	0.31^{ns}	3.99^{ns}	0.0052^{ns}	0.0199*	28.73^{ns}	105.40^{ns}	1.39*	14.05**
N×I	آبیاری × نیتروژن	9	14.34^{ns}	5.25^{ns}	81.89^{ns}	105.70^{ns}	0.07^{ns}	4.00^{ns}	0.0113^{ns}	0.0067^{ns}	19.80^{ns}	24.10^{ns}	1.36**	7.12**
Error b	اشتباه	24	23.87	11.33	107.31	46.53	0.29	3.75	0.0052	0.0058	395.96	12.13	0.23	0.64
CV (%)	ضریب تغییرات	-	5.92	4.78	22.02	29.60	1.39	4.49	10.68	11.24	11.43	15.88	19.11	13.56

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار

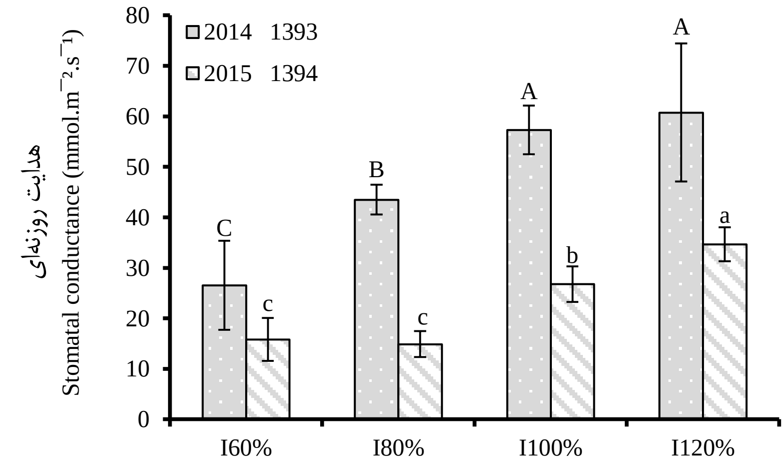
*, ** and ns significant at 5% and 1% levels and non-significant, respectively.

هدایت روزنه‌ای برگ

اثر آبیاری در هر دو سال بر هدایت روزنه‌ای بـرگ معنــی‌دار بـود (جدول ۴). در سال دوم، هدایت روزنه‌ای در تمام سطوح آبیاری نسبت به سال اول کمتر بود. به دلیل شرایط آب و هوایی مساعدتر سال اول از نظر درجه حرارت هوا در طول دوره رشد، امکـان بـاز بـودن بیشـتر روزنه‌ها فراهم بـود. در هـر دو سـال، بـا مصـرف آب کمتـر، هـدایت روزنه‌ای کاهش یافت. در سال اول اختلاف بین هـدایت روزنـه‌ای در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نبود (به‌ترتیب ۶۰/۸ و ۵۷/۳ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). اما تنش ملایم و شدید کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنـه‌ای شـدند (بـه‌ترتیـب ۴۳/۵ و ۲۶/۵ میلی‌مول بر مترمربـع در ثانیـه). در سـال دوم، بـا تـأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی هدایت روزنه‌ای (۲۶/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیـه) به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط تأمین ۱۲۰ درصـد نیـاز آبـی (۳۴/۷ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) بود. کمترین میزان هدایت روزنـه‌ای بـا اعمال تنش ملایم و تنش شدید کم‌آبی در سال دوم (به‌ترتیـب ۱۴/۹ و ۱۵/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) ثبـت شـد (شـکل ۲). یکـی از اولین واکنش‌های گیاه به تنش، محدود کردن هدایت روزنه است. اگر میزان آبی که از سلول‌های محافظ روزنه دفع می‌شـود از آبـی کـه از سلول‌های مزوفیلی به این سـلول‌هـا منتقـل مـی‌شـود بیشـتر باشـد، سلول‌های محافظ روزنه چروکیده شده و دهانه روزنه کوچـک‌تـر و در نهایت بسته می‌شود. به علاوه در واکنش به کمبود آب، آبسزیک اسید در سلول‌های مزوفیلی تجمع یافته و بـه سـلول‌هـای محـافظ روزنـه می‌رسد. آبسزیک اسید با دخالت در کار پمپ‌های پروتونی موجـود در غشاء، موجب تشدید خروج یون پتاسیم از سلول‌های محـافظ و بسـته شدن روزنـه مـی‌شـود (Ahmadi *et al.*, 2008). سـوزا و همکـاران (Souza *et al.*, 2013) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با تأثیر کم‌آبـی بر هدایت روزنه‌ای ذرت گزارش کردند.

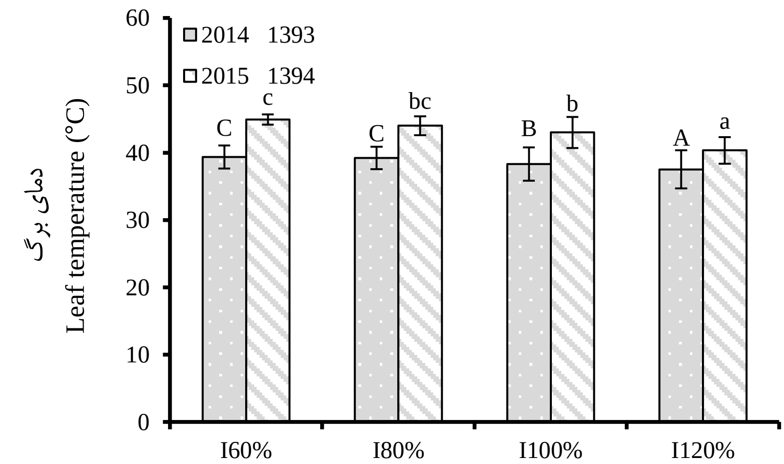
دمای برگ

دمای برگ در هر دو سال به طور معنی‌داری تحت تـأثیر آبیـاری قرار گرفت (جدول ۴). در تمام سطوح آبیاری، دمای برگ در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (شکل ۳). کاهش تعرق به دلیل هـدایت روزنه‌ای کمتر برگ‌هـا در سـال دوم نسـبت بـه سـال اول منجـر بـه افزایش دمای برگ شد. در هر دو سال، با افـزایش شـدت کـم آبـی، دمای برگ بیشتر شد. مقدار افـزایش دمـا در تیمارهـای کـم آبیـاری نسبت به آبیاری مطلـوب در سـال دوم از سـال اول بیشـتر بـود. بـه طوری‌که در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی، دمای برگ در سال اول به‌ترتیب ۰/۷۸، ۱/۷۰ و ۱/۸۴ درجه سانتی‌گراد بالاتر بود. این مقادیر در سـال دوم بـه‌ترتیـب ۲/۶۶، ۳/۶۶ و ۴/۵۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۴).



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت هدایت روزنه‌ای برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹٤ (حروف کوچک). در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 2- Mean comparison of irrigation levels for stomatal conductance in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.



شکل ۳- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت دمای برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹٤ (حروف کوچک) در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

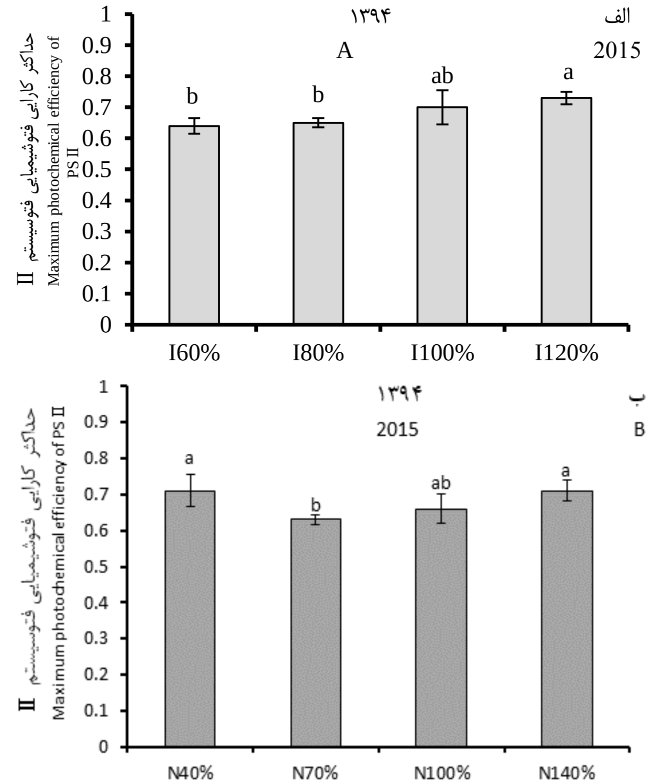
Figure 3- Mean comparison of irrigation levels for leaf temperature in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.

در شرایط تنش، بخش زیادی از انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها در واکنش‌های فتوشیمیایی مصرف نمی‌شود و به گرما تبدیل می‌شود. به دلیل بالا بودن گرمای نهان تبخیر آب، تعرق راه اصلی دفع انرژی اضافه است. کاهش تعرق به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، افزایش دمای برگ را به دنبال دارد (Ahmadi *et al.*, 2009).

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

در سال اول اثرهای آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II معنی‌دار نبود (جدول ۴). بنابراین کمبود آب و نیتروژن تا زمان ظهور گل‌تاجی بر واکنش‌های نوری فتوسنتز تأثیر منفی نداشته است. در آزمایش اشرف و همکاران (Ashraf *et al.*, 2007) نیز کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تحت‌تأثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت. با این حال در سال دوم، فعالیت فتوسیستم II تحت تأثیر مقدار آب و نیتروژن مصرفی قرار گرفت

(جدول ۴). افزایش شدت کم آبی، منجر به کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شد. به طوری‌که مقدار این شاخص در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیازآبی، به‌ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۰، ۰/۶۵ و ۰/۶۴ به‌دست آمد (شکل ۴- الف). در اثر تنش، فعالیت مجموعه آزادکننده اکسیژن در مرکز واکنش فتوسیستم II به‌دلیل تخریب پروتئین D_1 مختل می‌شود و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II کاهش می‌یابد (Huseynova, 2012). اما در صورتی‌که انرژی اضافی دفع شود، فتوسیستم II از آسیب در امان می‌ماند. رنگدانه‌های کارتنوئید در پراکنده کردن انرژی اضافی نقش دارند. در نور شدید، ویولوگزانتین از طریق ایجاد ماده حد واسط آنتروگزانتین به زآگزانتین تبدیل می‌شود. اتصال پروتون‌ها و زآگزانتین به پروتئین‌های مجموعه‌های جمع‌آوری‌کننده نور، منجر به پراکنش انرژی اضافی به شکل گرما می‌شود (Kafi *et al.*, 2012). در این آزمایش به نظر می‌رسد که گرمای بیشتر هوا در سال دوم، تضعیف سیستم دفاعی و آسیب به مراکز واکنش فتوسیستم II را در شرایط کم‌آبی به دنبال داشته است. در آزمایش سوزا و همکاران (Souza *et al*., 2013) نیز در سال دوم اجرای آزمایش که دمای هوا در طول دوره رشد ذرت نسبت به سال اول کمتر بود، کم آبی کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را تغییر نداد.

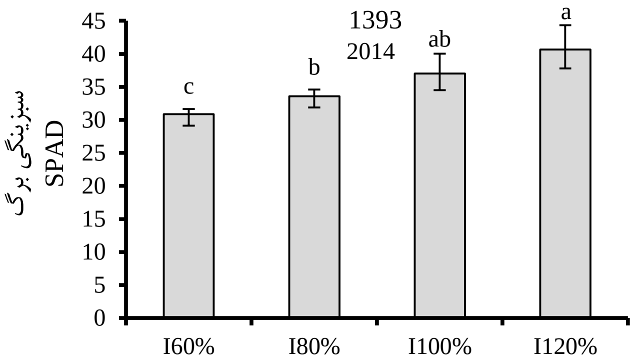


شکل ٤- مقایسه میانگین سطوح آبیاری (الف) و سطوح نیتروژن (ب) در صفت حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در سال ۱۳۹٤. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 4- Mean comparison of irrigation levels (A) and nitrogen levels (B) for maximum photochemical efficiency of PSII in 2015. In per column, vertical bars represent the standard error.

سبزینگی برگ

سبزینگی برگ فقط در سال ۱۳۹۳ اندازه‌گیری شد. اثر آبیاری بر سبزینگی برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). با مصرف آب کمتر، سبزینگی برگ کاهش یافت. به طوری‌که با تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، سبزینگی برگ به‌ترتیب ۴۰/۷، ۳۷، ۳۳/۶ و ۳۰/۹ به‌دست آمد (شکل ۵). در شرایط کم آبی به دلیل کاهش ساخت و افزایش سرعت تجزیه رنگدانه‌ها، سبزینگی برگ‌ها کاهش می‌یابد. در آزمایش فاضلی رستم‌پور و همکاران (Fazeli Rostampour *et al.*, 2010) نیز اعمال تنش کم آبی منجر به کاهش سبزینگی برگ ذرت شد.



شکل ۵- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت سبزینگی برگ در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.
Figure 5- Mean comparison of irrigation levels for SPAD in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

سرعت فتوسنتز

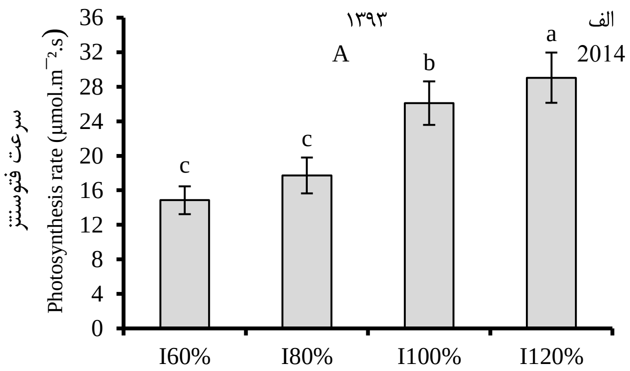
اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز فقط در سال ۱۳۹۳ انجام شد. در مرحله ظهور گل‌تاجی، اثرهای سطوح آبیاری و مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت تثبیت خالص دی‌اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول ۴). با تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی به ازای هر مترمربع برگ به‌طور متوسط ۲۹ میکرومول دی‌اکسید کربن در ثانیه تثبیت شد. مصرف آب کمتر، سرعت فتوسنتز را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به‌طوری‌که با تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن به‌ترتیب ۲/۹، ۱۱/۳ و ۱۴/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه کمتر بود (شکل ۶- الف). رضایی‌راد و همکاران (Rezaii Rad *et al*., 2016) و گی و همکاران (Ge *et al*., 2012) نتایج مشابهی در رابطه با تأثیر آب بر سرعت فتوسنتز را گزارش کردند. مصرف نیتروژن تا حد نیاز گیاه بر سرعت فتوسنتز تأثیر مثبت داشت. اما افزایش سرعت فتوسنتز با مصرف نیتروژن بیشتر از نیاز گیاه از نظر آماری معنی‌دار نبود. از طرف دیگر، کمبود شدید نیتروژن (تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه) سرعت فتوسنتز را به شدت کاهش داد. سرعت تثبیت خالص دی‌اکسید کربن در هر مترمربع برگ با تأمین ۱۴۰، ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز نیتروژن به‌ترتیب ۲۵/۵، ۲۳، ۲۰/۶ و ۱۸/۶ میکرومول در ثانیه بود (شکل ۶- ب). ریتا و همکاران (Retta *et al*., 2016) نیز تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر سرعت فتوسنتز را گزارش کردند.

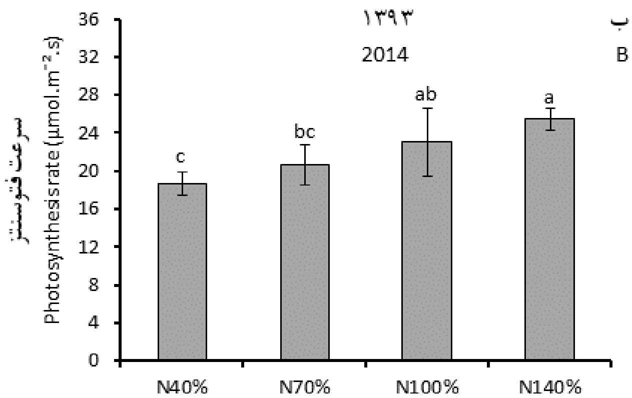
کاهش سرعت فتوسنتز در اثر کمبود آب و نیتروژن می‌تواند به دلیل کاهش محتوای رنگدانه‌های جذب‌کننده نور، کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای کمتر، کاهش جذب و متابولیسم کربن، کاهش مقدار آنزیم‌های فتوسنتزی یا ترکیبی از این عوامل باشد. به نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کم آبی، کاهش ورود دی‌اکسید کربن در اثر بسته شدن روزنه‌ها است (Rezaii Rad *et al*., 2016). در آزمایش حاضر نیز در شرایط کم آبی، کاهش سرعت فتوسنتز همزمان با کاهش هدایت روزنه‌ای رخ داد (شکل ۲). با این حال، محدودیت‌های غیر روزنه‌ای نیز تأثیر زیادی بر کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کم آبی دارند. به علاوه، کمبود شدید آب باعث ایجاد تغییرات ساختاری در دستگاه فتوسنتزی از جمله تخریب تیلاکوئیدهای کلروپلاست سلول‌های مزوفیل و غلاف آوندی می‌شود (Stoyanova *et al*., 2002). کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کمبود نیتروژن با افزایش مقاومت روزنه‌ای، مقاومت مزوفیلی و مقاومت غلاف آوندی همراه است (Zeiaie, 2007). در شرایط کمبود شدید نیتروژن، آنزیم رابیسکو تجزیه می‌شود. با کاهش مقدار رابیسکو در برگ، تثبیت دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد (Ahmadi *et al*., 2009). همچنین نیتروژن با بهبود ترکیب غشاء پلاسمایی، نفوذپذیری غشاء و هدایت غلاف آوندی در افزایش سرعت فتوسنتز مؤثر است (Retta *et al*., 2016).

سرعت تعرق

وضعیت سرعت تعرق فقط در سال ۱۳۹۳ بررسی شد. اثرهای آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر سرعت تعرق معنی‌دار بودند (جدول ۴). صرف نظر از مقدار نیتروژن، با تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین سرعت تعرق ثبت شد (به‌ترتیب ۴/۵ و ۴/۶ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). کمبود ملایم و شدید آب، سرعت تعرق را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (به‌ترتیب ۳/۲ و ۲/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). در شرایط تأمین ۱۲۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت تعرق معنی‌دار نبود. اما در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، با مصرف ۷۰ درصد نیاز نیتروژن، سرعت تعرق به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح نیتروژن بود (۶ میلی‌مول برمترمربع در ثانیه) (شکل ۷). کاهش هدایت روزنه‌ای در واکنش به کمبود آب عامل محدودیت تبادلات گازی است. گی و همکاران (Ge *et al*., 2012) نیز کاهش معنی‌دار سرعت تعرق در اثر تنش ملایم و شدید کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب را گزارش کردند. در آزمایش امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) سرعت تعرق

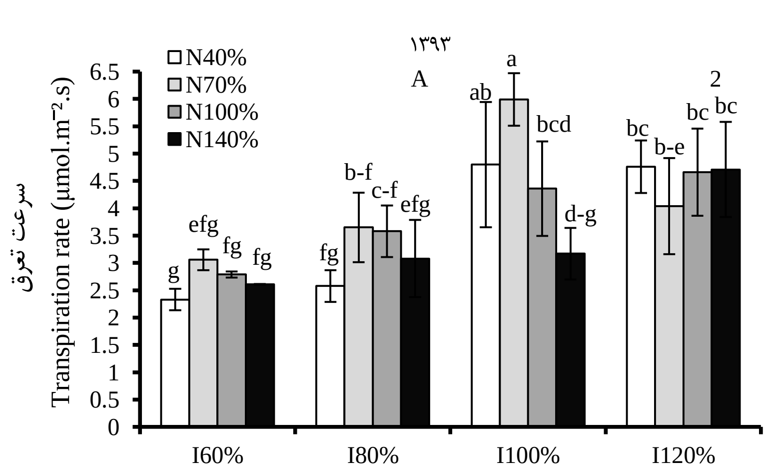
در تنش شدید کم‌آبی نسبت به آبیـاری مطلـوب کمتـر بـود، امـا تـنش ملایم کم‌آبی سرعت تعرق را کاهش نداد.





شکل ٦- مقایسه میانگین سطوح آبیاری (الف) و سطوح نیتروژن (ب) در صفت سرعت فتوسنتز در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 6- Mean comparison of irrigation levels (A) and nitrogen levels (B) for photosynthesis rate in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

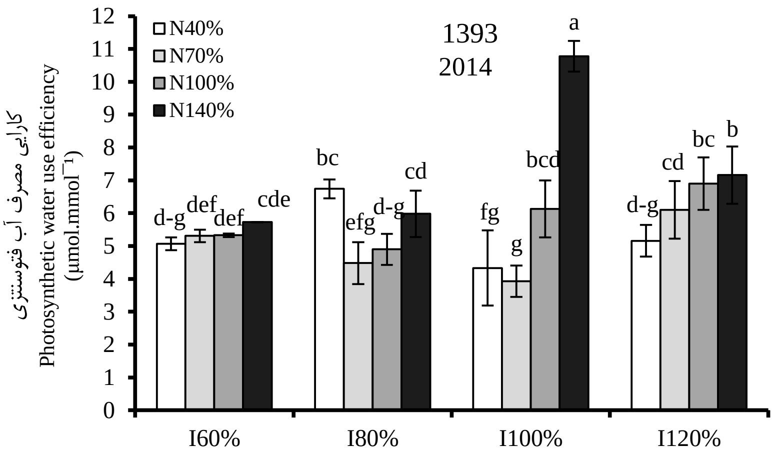


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × نیتروژن در صفت سرعت تعرق در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 7- Mean comparison of irrigation × nitrogen interaction for transpiration rate in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

در این آزمایش میکرومول دی‌اکسید کربن تثبیت شده طی فتوسنتز به ازای یک میلی‌مول آب تعرق یافته، تحت عنوان کارایی مصرف آب فتوسنتزی در نظر گرفته شد. این صفت تحت تأثیر نیتروژن و اثر متقابل آبیاری در نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴). با کاهش مقدار آب و با مصرف نیتروژن کمتر، میانگین کارایی مصرف آب فتوسنتزی کاهش یافت. اما واکنش کارایی مصرف آب فتوسنتزی به ترکیبات متفاوت آب و نیتروژن متغیر بود. کمبود نیتروژن در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی را کاهش داد. تأمین نیتروژن کافی در شرایط آبیاری مطلوب، توان فتوسنتزی را بهبود می‌دهد. نیتروژن با تأثیر مثبت بر کاهش مقاومت مزوفیلی و مقاومت غلاف آوندی سرعت فتوسنتز را افزایش می‌دهد. در این شرایط نیاز به باز بودن روزنه کمتر است، بنابراین با تعرق کمتر، دی‌اکسید کربن بیشتری تثبیت می‌شود. واکنش کارایی مصرف آب فتوسنتزی به مقادیر متفاوت نیتروژن با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی متغیر بود. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار نبود (شکل ۸). امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) تأثیر نیتروژن بر افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی را گزارش کردند. در آزمایش گی و همکاران (Ge *et al*., 2012) و امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) کاهش بیشتر سرعت فتوسنتز خالص نسبت به سرعت تعرق در تنش شدید کم آبی منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب فتوسنتزی شد، اما با اعمال تنش ملایم کم‌آبی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش یافت.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × نیتروژن در صفت کارایی مصرف آب فتوسنتزی در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 8- Mean comparison of irrigation × nitrogen interaction for photosynthetic water use efficiency in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

نتیجه‌گیری

در سال دوم به دلیل دمای بالاتر هوا در طول دوره رشد، صفت‌های محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در مقایسه با سال اول به‌طور معنی‌داری کمتر، اما دمای برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین تأثیر منفی کم آبی بر فعالیت فتوسیستم II در سال دوم مشاهده شد. در هر دو سال با افزایش شدت کم آبی، مقدار آب نگهداری شده در بافت‌های برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به دنبال آن، کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق تحت تأثیر کمبود آب رخ داد. افزایش مقدار نیتروژن تا حد تأمین نیاز گیاه منجر به افزایش معنی‌دار سرعت فتوسنتز شد. مصرف نیتروژن بیشتر در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی از طریق بهبود توان فتوسنتزی و کاهش تعرق، کارایی مصرف آب فتوسنتزی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اما در شرایط کم آبی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر شدت تعرق و کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد اطلاع از وضعیت گیاه در واکنش به سطوح مختلف آب و نیتروژن نیاز به بررسی دقیق ویژگی‌های فیزیولوژیک دارد. صفات مورد بررسی بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود. افزایش همزمان آب و نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه دانه گردید. در سال اول بیشترین و کمترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۹۸۰ و ۲۹۴ گرم در مترمربع) به‌ترتیب متعلق به تیمارهای $I_{120\%}N_{140\%}$ و $I_{60\%}N_{70\%}$ بود. در سال دوم نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۰۳ و ۲۷۷ گرم در مترمربع) در تیمارهای $I_{120\%}N_{100\%}$ و $I_{60\%}N_{40\%}$ مشاهده شد. در شرایط کم آبیاری، تفاوت عملکرد دانه بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود (نتایج ارائه نشده است). این نتایج بر اثر نیتروژن روی افزایش رشد ذرت تأکید می‌کند، به علاوه اهمیت

آزمایش خاک به منظور تعیین میزان مناسب نیتروژن و لزوم برقـراری تناسب بین آب و نیتروژن را روشن می‌نماید.

References

1. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2008. Introduction to plant physiology Vol. 2. University of Tehran press 3rd ed.
2. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2009. Introduction to plant physiology Vol. 1. University of Tehran press 3rd ed.
3. Alizadeh, A., Vazifeh Doost, M., Kamali, Gh., Bastani, Kh., Mortazavi, A., and Izadi, A. 2002. Software for optimizing pattern of agriculture water use AWAT.
4. Alizadeh Oghyanous, P., Azari, A., and Salimi, M. 2008. Study the reaction og grain yield maize lines and hybrids on moisture stress and nitrogen fertilizer interaction. Proceeding of 1st Environmental Tensions in Agricultural Science Conference. Birjand, Iran. (in Persian with English abstract).
5. Ashraf, M., Nawazish, S., and UR-Rehman Athar, H. 2007. Are chlorophyll fluorescence and photosynthetic capacity potential physiological determinants of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany 39 (4): 1123-1131.
6. Barrs, H. D. 1968. Determination of water deficits in plant tissue. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed) Water deficits and plant growth. New York, Academic Press 1: 235-368.
7. Ding, L., Wang, K. J., Jang, G. M., Biswas, D. K., XU, H., Li, L. F., and Li, Y. H. 2005. Effect of nitrogen deficiency on photosynthetiv traits of maize hybrids released in different years. Annals of botany 96: 925-930.
8. Dokoohaki, H., Gheysari, M., and Karimi Jafari, M. 2012. Applying the DSSAT model to determine the yield response factor under different growth stage. Proceeding of 3rd Water Resources Integrated Management Conference. September 10-11, Sari, Iran. (in Persian with English abstract).
9. Emam, y., and Zeiaie, A. 2010. Study of relationship between water and nitrogen use efficiency on photosynthesis of two grainy maize hybrids. Iranian journal of Field Crop Science 3: 423-432. (in Persian with English abstract).
10. English, M. J., Musick, J. T., and Murty, V.V. 1990. Deficit irrigation. In: G.J. Hoffman, T.A. Towell & K.H. Solomon, eds. Management of farm irrigation systems , St. Joseph, Michigan, United States of America, ASAE.
11. Fazeli Rostampour, M., Seghatoleslami, M. J., and Mousavi, S. G. 2010. Effect of drought stress and superabsorbent on relative water content and leaf chlorophyll index and its relationship with grain yield in corn. Crop Physiology Journal 2 (1): 19-31. (in Persian with English abstract).
12. Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, C., and Sun, N. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. Acta Physiologiae Plantarum 34: 1043-1053.
13. Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Asadi, M. E., and Hoogenboom, G. 2009. Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management 96-6: 946-954.
14. Ghobadi, R. 2017. Interaction of water and nitrogen on ecophysiological characteristics and yield gap of seedy corn. Ph. D. Dissertation, Razi University, Iran.
15. Huseynova, I. M. 2012. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. Biochimica et Biophysica Acta 1817: 1516-1523.
16. Kafi, M., and Kamkar, B., Mahdavi Damghani, A., Abbasi, F., and Sharifi, H. R. 2012. Plant physiology Vol. 1. Jahade-e- Daneshghahi Mashhad Press. 4th ed.
17. Khaksar, A. M., Naderi, M., Ayeneband, A., and Lack, Sh. 2014. Evaluation effect of simultaneous deficit irrigation and water cut stress on effective physiological traits on grainy maize Sc 704 yield. Journal of Crop Production Research 6 (1): 63-79. (in Persian with English abstract).
18. Malakooti, M. J., and Gheibi, M. N. 2000. Determining critical levels of effective nutrients in soil, Plant and Fruits. Amoozesh-e-Keshavarzi Pub. Pp: 92. (in Persian).
19. Mulvaney, R. L., Khan, S. A., Hoest, R. G., and Brown, A. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. Soil Science Society of America Journal 65: 1164-1172.
20. Olaniyan, A. B., Aintoye, H. A., and Balogun, M. A. 2004. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on growth and yield of sweet maize. Retrieved June 22, 2015, from http://www. Tropentary. De/2004/ abstracts/ full/146.pdf.
21. Retta, M., Yin, X., Putten, P. E. L., Cantre, D., Berghuijs, H. N. C., Ho, Q. T., and Struik, P.C. 2016. Impact of anatomical traits of maize (*Zea mays* L.) leaf as affected by nitrogen supply and leaf age on bundle sheath conductance. Plant Science 252: 205-214.
22. Rezaii Rad, H., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., and Siahpoush, M. R. 2016. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of maize in the presence of a shallow water table in Ahvaz climatic conditions. Irrigation Science and Engineering 39 (1): 55-66. (in Persian with English abstract).

23. Sanchez-Rodreguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. M., Romero, L., and Ruiz, J. M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science 178: 30-40.
24. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., and Majidi, E. 2008. Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phonological traits of three millet species. Pakistan Journal of Botany 40 (4): 1555-1560.
25. Sepaskhah, A. R., and Ahmadi, S. H. 2010. A review on partial root zone drying irrigation. International Journal pf Plants Production 4 (4): 241-259.
26. Souza, T. C., Castro, E. M., Magalhaes, P. C., Lino, L. D. O., Alves, E. T., and Albuquerque, P. E. P. 2013. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. Acta Physiologiae Plantarum 35: 3201-3211.
27. Stoyanova, D., Tchakalova, E., and Yordanov, I. 2002. Influence of different soil moisture on anatomy of maize leaves and ultra structure of chloroplasts. Bulgarian Journal of Plant Physiology 28 (1-2): 11-20.
28. Zeiaie, A. 2007. Effect of water stress and deficit nitrogen on two corn hybrids (*Zea mays* L.) photosynthesis. MSc. University of Shiraz, Iran.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 583-597

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۹۷-۵۸۳

Study the Responses of Some Leaf Physiologic Characteristics to Different Water and Nitrogen Levels in Grainy Maize (*Zea mays* L.)

R. Ghobadi[1]- M. Ghobadi[2*]- S. Jalali Honarmand[2]- B. Farhadi[3]- F. Mondani[4]
Received: 02-11-2017
Accepted: 15-01-2018

Introduction

Changes in water and nitrogen amounts cause different physiological reactions in plants. These changes are created for respond to stress in order to reduce or eliminate the stress effects. Improper management of water and nitrogen are main growth limiting factors of maize. The proper reaction of maize to nitrogen which leads to higher yield, is reason of excessive amounts use of nitrogen fertilizers. Nitrogen losses are the results of high nitrogen usage. The new irrigation methods, such as deficit irrigation, play important roles in preventing leaching and nutrients maintenance in root zone. Under water deficit conditions, nutrients absorption decreases, therefore fertilizer recommendation should be done according to existing water conditions. The study of physiological reactions of maize to different amounts of water and nitrogen helps to estimate accurately the crop need for water and nitrogen. Therefore, this research was conducted to evaluate the role of different amount of water and nitrogen in causing physiological changes in maize leaves.

Materials and Methods

This experiment was done at Razi University, Kermanshah, Iran, during 2014 and 2015. The experiment was conducted as split plot with three replications. Main-plot was four irrigation levels included supplying 60, 80, 100 and 120% water requirement ($I_{60\%}$, $I_{80\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{120\%}$, respectively), and sub-plot included four nitrogen levels 40, 70, 100 and 140% ($N_{40\%}$, $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, respectively) recommended amount based on the soil test. To calculate water requirement, Penman-Monteith-FAO equation was used. For each treatment the amount of water was measured. Partitioning of nitrogen at times the two-leaf stage, the six-leaf stage and before tassel emergence was equal. Leaf physiologic traits included relative water content, stomatal conductance, temperature, photochemical efficiency of PSII, SPAD, photosynthesis rate, transpiration rate and photosynthetic water use efficiency measured. Statistical analysis and mean comparisons were performed using SAS software and LSD method.

Results and Discussion

Air temperature during the crop growth in 2014 was less than 2015. Therefore relative water content (82.5 and 70.4% in 2014 and 2015, respectively) and stomatal conductance (47 and 23 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$) in 2015 were less than 2014, but leaf temperature was higher (38.6 and 43.1 ºC). In 2014, PSII activity was not affected by irrigation treatment, but negative effect of deficit irrigation on PSII activity was observed in 2015. In 2014, there was no significant difference between stomatal conductance in $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ (60.8 and 57.3 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$, respectively), but mild and severe deficit irrigation caused to significant reductions in stomatal conductance (43.5 and 26.5 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$, respectively). In 2015, Stomatal conductance in $I_{100\%}$ was significantly less than from $I_{120\%}$. The lowest stomatal conductivity was recorded with mild and severe deficit irrigation in 2015 (14.9 and 15.8 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$ respectively). In 2014, leaf temperature in $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$ (0.78, 1.70, and 1.84ºC respectively) was higher than $I_{120\%}$ and these values were obtained 2.66, 3.66 and 4.60ºC in 2015 respectively. In $I_{120\%}$, $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$, CO_2 stabilization rate was 29, 26.1, 17.7 and 14.9 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$, respectively. Nitrogen

1- PhD Graduate of Crop Physiology, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University
2 and 4- Associate Professor and Assistant Professor respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University
(*- Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

consumption up to crop requirement had a positive effect on photosynthesis rate. The photosynthesis rate in $N_{140\%}$, $N_{100\%}$, $N_{70\%}$ and $N_{40\%}$ was 25.5, 23, 20.6, and 18.6 µmol CO_2 $m^{-2}.s^{-1}$ respectively. Mild and severe deficit irrigation reduced transpiration rate. However, in $I_{100\%}$, using 70% nitrogen demand, transpiration rate was significantly higher than other nitrogen levels. By reducing water amount and less nitrogen consumption, photosynthetic water use efficiency was decreased. Nitrogen deficiency in $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ reduced photosynthetic water use efficiency. In $I_{80\%}$, photosynthetic water use efficiency reaction to different nitrogen levels was varied. In $I_{60\%}$, effect of different nitrogen levels was not significant.

Conclusions

Leaf area, relative water content, stomatal conductance, photosynthesis and transpiration rate were reduced with increasing water deficit. Increasing nitrogen up to the crop requirement led to increased leaf area and photosynthesis rate. Under adequate water condition, nitrogen consumption up to recommended amount led to increased photosynthesis rate, decreased transpiration rate and finally improved photosynthetic water use efficiency. Hiwever under deficit irrigation, there were no significant differences in traits among nitrogen levels. In the first year, the highest and lowest grain yield (980 and 294 $g.m^{-2}$) belonged to $I_{120\%}N_{140\%}$ and $I_{60\%}N_{70\%}$ treatments, respectively. In the second year, the highest and lowest grain yield (903 and 277 $g.m^{-2}$) was observed in $I_{120\%}N_{100\%}$ and $I_{60\%}N_{40\%}$ treatments, respectively.

Keywords: Photosynthesis, Stomatal conductance, Transpiration, Water deficit